

DESARROLLO DEL FRUTO Y DE LA SEMILLA EN DOS CULTIVARES DE CAFE (*Coffea arabica*) Y SU RELACION CON LA GERMINACION Y EL ALMACENAMIENTO¹

Ramiro Alizaga *
Jorge Herrera *

ABSTRACT

Fruit and seed development in two cultivars of coffee (*Coffea arabica*) and its relationship with germination and storage. Coffee fruits of cultivars "Caturra" and "Catuai" were harvested every 2 weeks, from week 22 until week 36 after anthesis, when they reached maturity. Fresh and dry weight and moisture content were measured on fruits and seeds. Also, germination tests were run after each harvest. Dry weight of fruits and seeds increased linearly during the whole maturation period, whereas fresh weight grew slowly until week 26, increasing sharply on weeks 28 and 34. Seeds failed to germinate up to 30 weeks after anthesis. Physiological maturity was reached in both cultivars on week 36, when they also showed their highest germination values. A second experiment was carried out with seeds of both cultivars at different maturation stages (unripe, partially ripe and completely ripe). The seeds were stored at 5 and 15°C for 15 months. Germination was lost in 6-9 months at 5°C, although "Catuai" was more tolerant to these unfavorable conditions. High germination (over 80%) was obtained after 15 months of storage at 15°C. Unripe seeds deteriorated faster than the ones from the other two maturation stages.

INTRODUCCION

Tradicionalmente, en Costa Rica y otros países, la semilla del café se cosecha cuando el fruto muestra la coloración típica que indica su madurez, que puede ser roja o amarilla dependiendo del cultivar. Astolfi *et al.* (1981) manifiestan que la maduración se alcanza entre 185 y 195 días después de la floración, mientras que Días y Sarrruge (1984) indican que se prolonga hasta 217 días después de la antesis. Estos trabajos reflejan

la tendencia general de los investigadores en cuanto a juzgar la madurez fisiológica de la semilla con base en la madurez aparente del fruto. Al respecto, Astolfi *et al.* (1981) determinaron que la semilla de café alcanza su madurez fisiológica antes de la maduración plena del fruto. Herrera *et al.* (1993) en un trabajo preliminar, encontraron que el fruto en estado semimaduro (pintón) produce semillas con un alto porcentaje de germinación aún después de 12 meses de almacenamiento.

El desarrollo morfológico del embrión de café ha sido estudiado por Arcila y Orozco (1987), quienes encontraron que éste se diferencia totalmente antes de que ocurra la maduración del fruto, aproximadamente 90 días después de la floración, aunque continúa creciendo hasta los 180-190 días.

Astolfi *et al.* (1981) estudiaron las modificaciones ocurridas durante el proceso de maduración del fruto en cuanto al contenido de humedad,

1/ Recibido para publicación el 8 de julio de 1994.
* Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Ambos autores son beneficiarios del Programa Financiero de Apoyo a Investigadores Científicos del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT).

materia seca y germinación. Sin embargo, no se encuentra en la literatura estudios que evalúen la evolución paralela de frutos y semillas, aspecto relevante si se considera que su maduración no es paralela.

Una vez cosechada, la semilla se debe conservar por el mayor tiempo posible con un máximo de viabilidad; esto es importante en el almacenamiento, la comercialización, el intercambio de material genético y los programas de mejoramiento (Aguilera y Goldbach, 1980; Reddy, 1987).

En general, se recomienda sembrar la semilla de café poco tiempo después de la cosecha, ya que se la ha considerado como recalcitrante, principalmente por las dificultades que presenta para su almacenamiento (Chin, 1980). Sin embargo, autores como Aguilera y Goldbach (1980), cuestionan esta clasificación, ya que no toma en cuenta que la fisiología de la semilla de café es muy compleja y que otros aspectos diferentes al contenido de humedad hacen variar su comportamiento durante el almacenamiento. Prueba de esto es que en diversos trabajos se ha logrado almacenar por períodos superiores a dos años con una germinación relativamente alta. Sin embargo, estos resultados se lograron de muy diversas maneras, desde almacenamiento con contenidos de humedad muy bajos (11%) (Van der Voseen, 1979), hasta humedades de 30 y 40% (Herrera *et al.*, 1993; Barboza y Herrera, 1990).

También se han probado diversas temperaturas de almacenamiento (Barboza y Herrera, 1990; Couturon, 1980; Van der Voseen, 1980); en general, se encontró que temperaturas inferiores a 10°C o superiores a 20°C reducen más rápidamente el poder germinativo de la semilla, que cuando se almacenan dentro de este ámbito.

El objetivo de este trabajo fue estudiar la relación entre el desarrollo de frutos y semillas de café, así como el efecto del grado de madurez del fruto y de la semilla sobre la germinación inicial y la conservación de la calidad fisiológica durante el almacenamiento, en diferentes materiales genéticos.

MATERIALES Y METODOS

En el primer experimento, se utilizó semilla de café de los cultivares Caturra y Catuaí, colectada de 30 arbustos por cultivar, seleccionados aleatoriamente en dos parcelas experimentales del Centro de Investigaciones en Café de Costa Rica

(CICAFE). Debido a que llovió durante la época seca, en ambos cultivares el 70% de la floración ocurrió el 18 de febrero de 1992. La primera cosecha se realizó el 28 de julio, 22 semanas después de la antesis y se repitió quincenalmente hasta la semana 36, para un total de 8 cosechas. En cada ocasión se colectó 1,5 kg de frutos, seleccionados de manera que fueran uniformes en sus características de tamaño y coloración. Se determinó el peso fresco, el peso seco y el porcentaje de humedad de los frutos y de las semillas. Para el análisis de cada variable se tomaron 3 repeticiones de 100 unidades cada una. Además, se realizó una prueba de germinación por cultivar, para lo cual se despulpó manualmente los frutos. Las semillas se sembraron en bandejas con arena acondicionada según las reglas de la International Seed Testing Association (1976) y se colocaron en una cámara de germinación a 30°C y 98% de humedad relativa. Cada unidad experimental constó de 50 semillas con 4 repeticiones. El recuento de plántulas normales se realizó 45 días después de iniciada cada prueba.

En el segundo experimento, se cosecharon frutos con 3 grados de maduración: verdes, pintones y maduros. Los frutos verdes se seleccionaron de manera que presentaran un exocarpio verde claro y una presencia de mieles muy escasa. Los frutos pintones presentaron entre 60 y 65% de coloración rojiza (Caturra) o amarilla (Catuaí). En la categoría de fruto maduro se buscó frutos totalmente rojos (Caturra) o amarillos (Catuaí). En el Cuadro 1 se presentan algunas características de los frutos y de las semillas.

Cuadro 1. Características de las semillas de dos cultivares de café empleados en el ensayo de almacenamiento, obtenidas de frutos con tres grados de madurez.

Cultivar	Grado de madurez	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
Caturra	Verde	32,0	14,5	54,6
	Pintón	30,3	14,7	51,9
	Maduro	30,4	15,1	49,5
Catuaí	Verde	33,7	15,9	52,5
	Pintón	32,4	16,2	49,8
	Maduro	31,0	16,2	48,4

Una vez extraídas las semillas, se secaron hasta reducir su humedad a 40% aproximadamente. Posteriormente se trataron con Vitavax 300 (Carboxín + Captan) a razón de 2 g/kg y se almacenaron a 5 y 15°C durante 15 meses. Se hicieron evaluaciones de la germinación cada 3 meses. Cabe mencionar que la temperatura de 5°C se usó con el fin de someter las semillas a una condición de estrés y así determinar posibles diferencias entre cultivares y grados de madurez de la semilla.

Se utilizó un diseño estadístico irrestricto al azar en un arreglo factorial de 2 (cultivares) x 3 (grados de madurez) x 2 (temperaturas de almacenamiento), con 4 repeticiones de 50 semillas. Para la separación de medias se usó la prueba de Tukey.

RESULTADOS

Primer experimento (Edad de la semilla)

La evolución del peso fresco, del peso seco y de la humedad del fruto mostró un comportamiento muy similar en ambos cultivares (Figura 1). El peso fresco del fruto aumentó lentamente hasta la semana 30 después de la antesis, cuando se produjo un fuerte incremento, seguido de una etapa de estabilización de 4 semanas y un segundo aumento a partir de la semana 34.

En cuanto al peso seco del fruto (Figura 1), éste aumenta paulatinamente durante todo el período, sin mostrar cambios apreciables. En el contenido de humedad, se observó disminución gradual y muy lenta durante la maduración, con una tendencia a estabilizarse durante las últimas 3 semanas.

En ambos cultivares, el peso fresco de la semilla aumentó muy lentamente hasta la semana 34 (Figura 2), a partir de la cual se detectó una marcada disminución. El peso seco aumentó en forma constante hasta la semana 32, seguido de una etapa de estabilización. El contenido de humedad se redujo de una manera muy uniforme desde valores cercanos a 80%, en la semana 22, hasta 50%, en la semana 36.

En la Figura 3 se observa que hasta la semana 28 la semilla de ambos cultivares prácticamente no tiene capacidad germinativa. A partir de la semana 30 hubo un notable incremento en el número de semillas germinadas, de manera que en la semana 36 ambos cultivares presentaron 95% de plántulas normales.

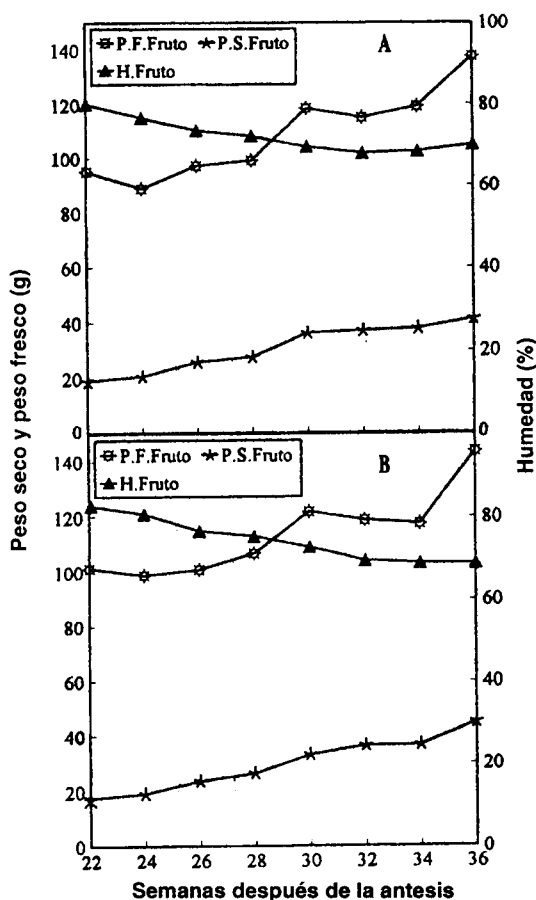


Fig. 1. Evolución de peso fresco (P.F.) y seco (P.S.) y de la humedad (H) del fruto en los cultivares Caturra (A) y Catuaí (B) entre las semanas 22 y 36 después de la antesis.

Segundo experimento (Condición de almacenamiento)

En el segundo experimento (Figura 4) se detectaron diferencias significativas ($\alpha = 0,01$) entre ambos cultivares, según lo cual Catuaí (66%) obtuvo valores promedio de germinación superiores a Caturra (58%) durante la totalidad del período de almacenamiento; la germinación inicial fue muy similar en ambos (92%). También hubo diferencias ($\alpha = 0,01$) en el grado de madurez, de manera que las semillas provenientes de frutos maduros y pintones dieron origen a un mayor número de plántulas normales. El almacenamiento de las semillas a 5°C tuvo un efecto negativo

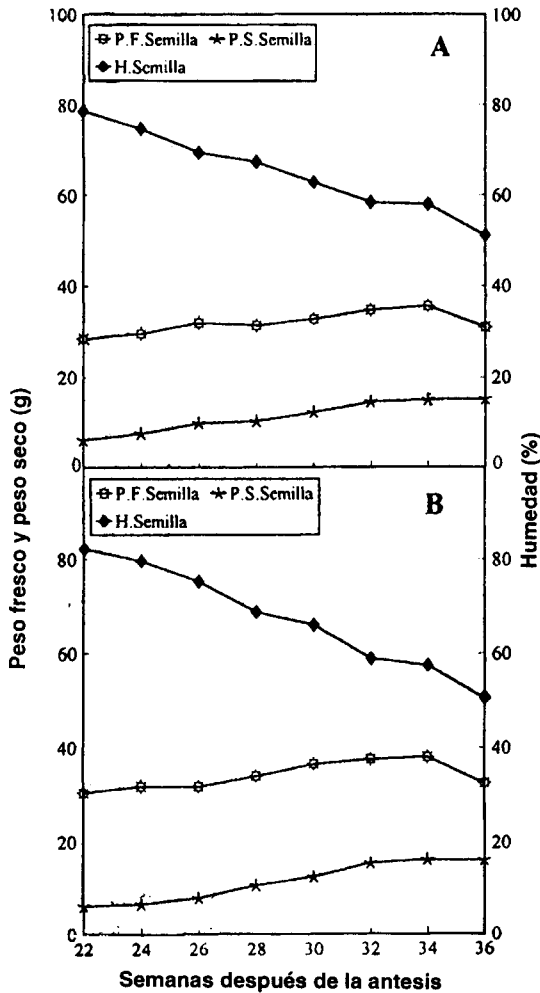


Fig. 2. Evolución del peso fresco (P.F.) y seco (P.S.) y del contenido de humedad (H) en semillas de los cultivares Caturra (A) y Catuái (B) entre las semanas 22 y 36 después de la antesis.

sobre su calidad fisiológica ($\alpha = 0,01$), ya que mientras la semilla almacenada a 15°C tuvo 89% de germinación en promedio durante este período, la almacenada a 5°C , tan sólo alcanzó 35%. El tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre la germinación ($\alpha = 0,01$); sin embargo, como se aprecia en la Figura 4, este efecto se debió esencialmente al almacenamiento a 5°C . Es importante notar que para cada temperatura de almacenamiento, la germinación de las semillas con los diferentes grados de madurez es diferente en magnitud, aunque sigue una tendencia similar.

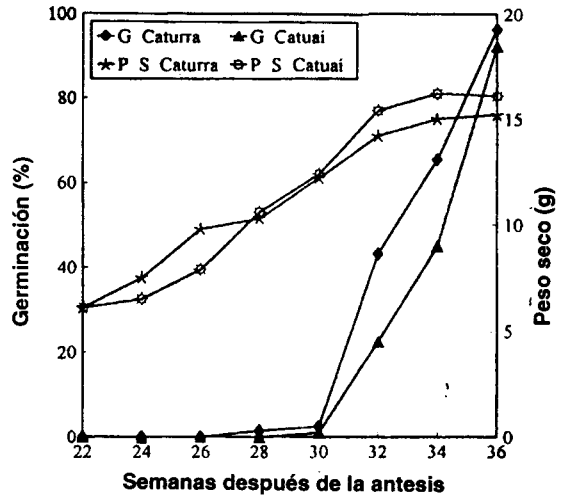


Fig. 3. Evolución del peso seco (P.S.) y de la germinación (G) en semillas de los cultivares de café cosechadas entre las semanas 22 y 36 después de la antesis.

La interacción cultivares por temperaturas de almacenamiento fue altamente significativa ($\alpha = 0,01$), debido a que Catuái soportó mejor el almacenamiento a 5°C . Asimismo, la interacción entre los cultivares y el tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0,01$) también fue altamente significativa, confirmando que la germinación en el cultivar Catuái descendió más lentamente que en Caturra. Finalmente, la interacción entre el tiempo de almacenamiento y las temperaturas demostró que a 15°C prácticamente no hubo reducción de la germinación en los 15 meses que duró la prueba ($\alpha = 0,01$), mientras que a 5°C el deterioro fue acelerado, de manera que a los 9 meses sólo germinó un 10% de semillas.

DISCUSION

Primer experimento

La evolución del peso seco y del peso fresco de los frutos (Figura 1), en ambos cultivares coincide con lo observado por Segura (citado por Herrera *et al.*, 1993) quien manifiesta que entre las semanas 26 y 30 después de la antesis, el peso del fruto aumenta cerca de un 30%. Del mismo modo, Puschman (1975), determinó que entre las semanas 22 y 26 el contenido de azúcares y el peso de los frutos se mantienen prácticamente constantes, seguido de un considerable aumento

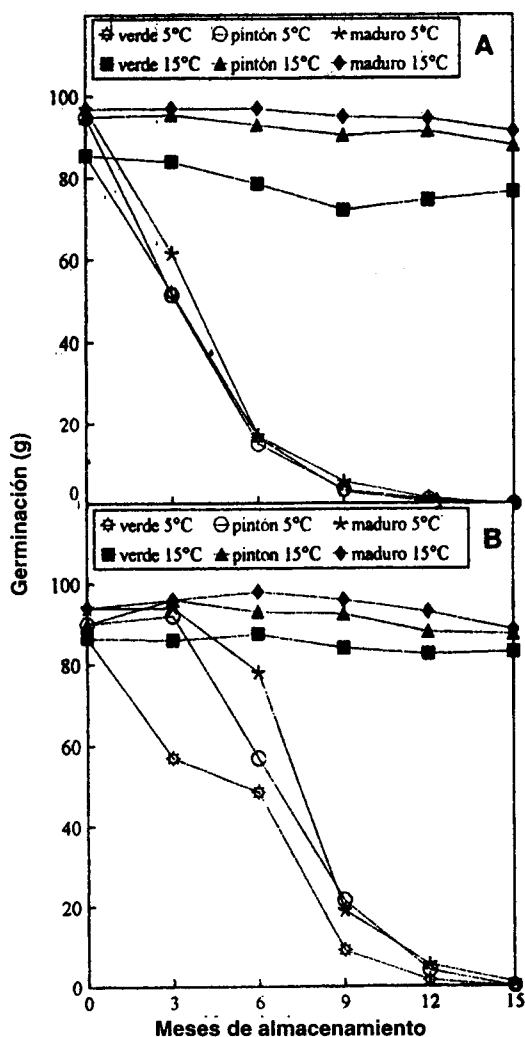


Fig. 4. Efecto de la temperatura de almacenamiento y del grado de madurez del fruto sobre la germinación de los cultivares Caturra (A) y Catuái (B).

durante las últimas 5 ó 6 semanas del proceso de maduración. Un comportamiento similar en el contenido de proteínas solubles y aminoácidos totales fue obtenido por Sacher (1973). Según Keller *et al.* (1972) el aumento antes mencionado se debe a que durante las últimas semanas de maduración, hay acúmulo de mieles y el pericarpio se expande.

A pesar del notable aumento en el peso fresco de los frutos, se da una disminución paulatina y

lenta del contenido de humedad, debido a la reducción rápida y normal de la humedad de las semillas conforme éstas maduran (Figura 2).

Cannell (1971) observó que el endocarpio (pergamino) de los frutos de café se lignifica y se torna inflexible alrededor de la semana 16 después de la floración, lo que impone una restricción mecánica a la posterior expansión de la semilla. Sin embargo, de acuerdo con Arcila y Orozco (1987) y León y Fournier (1962) el proceso de desarrollo y diferenciación continúa hasta la madurez. En el presente trabajo, la evolución del peso fresco y del peso seco es congruente con lo anterior, ya que mostraron un comportamiento lineal creciente hasta la semana 34 (Figuras 2 y 3). Esto coincide también con lo observado por Keller *et al.* (1972), e indica que el desarrollo de la semilla es un proceso continuo y que éstas alcanzan la madurez fisiológica entre las semanas 34 y 36, período que coincide con la madurez de los frutos y con la época de cosecha.

Como se puede observar en la Figura 3, la capacidad de germinar de ambos cultivares se inició entre las semanas 28 y 30, cuando las semillas alcanzaron 85% de su peso seco máximo. Este hecho coincide con lo señalado por Arcila y Orozco (1987), quienes manifiestan que los embriones están totalmente diferenciados a partir de la semana 17 en el cultivar Caturra, pero que alcanzan la madurez hasta la semana 30. Conviene señalar que esta caracterización del desarrollo embrionario está basada exclusivamente en parámetros morfológicos y no considera aspectos fisiológicos de la semilla, *vg.*, síntesis y acúmulo de proteínas de reserva. De hecho, los mismos autores señalan que el embrión completa su desarrollo antes que el endosperma y es justamente en éste y en la capa de aleuronas que lo rodea, donde se acumulan dichas proteínas de reserva, esenciales para desencadenar el metabolismo germinativo de las semillas, mediante la síntesis de enzimas hidrolíticas (Murray, 1984). Otro aspecto interesante es el posible efecto de la desecación, ya que el contenido de humedad de las semillas en la semana 22 es muy alto (superior a 80%) mientras que en la semana 30 se encuentra alrededor de 63%. Al respecto, Kermode *et al.* (1986) mencionan que las semillas de muchas especies requieren de un proceso de desecación (aunque parcialmente inmaduras) para detener o superar la fase de desarrollo y cambiar la orientación del metabolismo hacia la fase germinativa.

Segundo experimento

El segundo experimento confirmó los resultados obtenidos por otros investigadores (Herrera y Barboza, 1990, Couturón, 1980; Van der Vossen, 1979), quienes encontraron que temperaturas inferiores a 10°C resultan perjudiciales para la conservación de la semilla de café. Cabe aclarar que el objetivo del almacenamiento a 5°C fue determinar posibles diferencias en el grado de tolerancia de los cultivares a condiciones ambientales desfavorables. Esto se confirmó pues la semilla de Caturra se deterioró más rápidamente que la de Catauá, que se mantuvo con 80% de germinación al cabo de 6 meses de almacenamiento, mientras que la de Caturra no alcanzaba un 20% (Figura 4). Sin embargo, después de 9 meses de almacenamiento a 5°C ninguno de los dos cultivares superó 25% de semillas germinadas.

La temperatura de 15°C resultó adecuada para mantener la viabilidad en ambos cultivares, al menos por un período de 15 meses, ya que con excepción de la semilla de Caturra obtenida de frutos verdes, se logró una germinación superior a 80%. Esto coincide con lo encontrado por Van der Vossen (1979) y Barboza y Herrera (1990), que lograron almacenar la semilla con alta viabilidad por 12 meses o más. También se confirmó que un contenido de humedad de 40% en las semillas de café, es adecuado para conservar la viabilidad por períodos prolongados, tal como lo señalan Da Silva y De Lima Dias (1985), quienes concluyeron que las semillas almacenadas con humedades entre 36 y 40% son las que conservan mejor su calidad fisiológica. Van der Vossen (1980) logró almacenar semillas de café a 15°C con 11% y 40% de humedad, pero indica que a 40% la viabilidad, y especialmente la energía germinativa o vigor, se conservan mejor.

Aun que las diferencias en peso seco entre los grados de madurez de la semilla de ambos cultivares son muy pequeñas (Cuadro 1), las semillas provenientes de frutos maduros y pintones se conservan mejor que las provenientes de frutos verdes, lo que coincide con un trabajo preliminar realizado por los mismos autores (Herrera *et al.*, 1993) y por Reddy (1987). Roberts (1972) afirma que la germinación y el vigor en semillas fisiológicamente maduras se mantiene por períodos más prolongados.

Un factor importante en este tipo de estudios es la escogencia de los grados de madurez de los frutos. Así, al contrario de lo obtenido en este

trabajo, Herrera *et al.* (1993), observaron que semillas provenientes de frutos verdes perdieron totalmente su capacidad germinativa al cabo de 12 meses de almacenamiento, lo que es atribuible a diferencias de criterio en la escogencia de los frutos, ya que en este segundo experimento se tuvo un control mayor desde el momento de la antesis hasta la cosecha.

Además de la dificultad de extracción de la semilla proveniente de frutos verdes, su comportamiento durante el período de almacenamiento es errático y con base en la evidencia antes discutida, resulta claro que la semilla de frutos parcial y totalmente maduros se conserva mejor, especialmente por períodos de 12 meses o más.

RESUMEN

Frutos de café de los cultivares Caturra y Catauá se cosecharon quincenalmente desde la semana 22 después de la antesis hasta la semana 36, cuando alcanzaron su madurez. Se evaluó peso fresco y seco de los frutos y de las semillas, así como germinación en cada cosecha. El peso seco de frutos y semillas creció linealmente durante todo el período de maduración, mientras que el peso fresco de los frutos mostró un fuerte incremento en las semanas 28 y 34. Las semillas de 30 semanas o menos no germinaron. En ambos cultivares la madurez fisiológica de las semillas se alcanzó en la semana 36, lo que coincidió con su máxima germinación. Se llevó a cabo un segundo experimento con semillas de ambos cultivares obtenidas de frutos verdes, pintones y maduros, que se almacenaron a 5 y 15°C. La germinación se perdió en 6-9 meses a 5°C, si bien la semilla de Catauá toleró mejor estas condiciones desfavorables. La germinación fue superior a 80% después de 15 meses de almacenamiento a 15°C en ambos cultivares. Las semillas de frutos verdes se deterioraron con mayor rapidez.

AGRADECIMIENTO

Al personal del Centro de Investigaciones en Café (CICAFE) cuya colaboración fue de suma importancia para la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- AGUILERA, H.; GOLDBACH, H. 1980. Storage of coffee (*Coffea arabica* L.) seed. *Journal of Seed Technology* 5(2):7-12.

- ARCILA, M.I.; OROZCO, F.J. 1987. Estudio morfológico del desarrollo del embrión de café. *Cenicafé* 38(1-4):62-78.
- ASTOLFI, P.; PEDROSO, P.; CARVALHO, N.; SADER, R. 1981. Maturação de sementes de café. *Científica* 9(2):289-294.
- BARBOZA, R.; HERRERA, J. 1990. El vigor en la semilla de café y su relación con la temperatura de secado, el contenido de humedad y las condiciones de almacenamiento. *Agronomía Costarricense* 14(1):1-8.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. 1982. *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination. Viability, Dormancy and Environmental Control*. Berlín, Springer-Verlag. v.2. 375p.
- CANNELL, M.G.R. 1971. Changes in the respiration and growth rates of developing fruits of *Coffea arabica* L. *Journal of Horticultural Science* 46:263-272.
- CHIN, H.F. 1980. *Germination in Recalcitrant Crop Seeds*. Ed. by H.F. Chin; E.H. Roberts. Malaysia, Tropical Press. p. 38-52.
- COUTURON, E. 1980. Le maintien de la viabilité des graines de caféiers para le contrôle de leur teneur en eau et de la température de stockage. *Café, Cacao, Thé* 24(1):27-32.
- DA SILVA, W.R.; DE LIMA DIAS, M.C.L. 1985. Interferência do teor de umidade das sementes de café na manutenção de sua qualidade fisiológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 20(5):551-560.
- DIAS, J.C.; SARRUGE, J.R. 1984. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 19(4):427-432.
- HERRERA, J.; ALIZAGA, R.; ALIZAGA, G. 1993. Efecto de la madurez del fruto de café (*Coffea arabica*) cv. Caturra sobre la germinación y el vigor de las semillas. *Agronomía Costarricense* 17(1):25-32.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. 1976. *Reglas internacionales para ensayos de semillas*. Madrid, Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero. 184 p.
- KELLER, H.; WANNER, H.; BAUMANN, T. 1972. Kaffein synthese in Früchten und Gewebekulturen von *Coffea arabica*. *Planta* 108:339-350.
- KERMODE, A.R.; BEWLEY, J.D.; DASGUPTA, J.; MISRA, S. 1986. The transition from seed development to germination: a key role for desiccation? *HortScience* 21(5):1113-1118.
- LEON, J.; FOURNIER, L. 1962. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. *Turrialba* 12(2):65-74.
- MURRAY, D.R. 1984. *Seed Physiology. Germination and Reserve Mobilization*. Sidney, Academic Press. v.2. 295 p.
- PUSCHMAN, R. 1975. Características bioquímicas do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação. Tesis M.Sc. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Facultad de Agronomía. 35 p.
- REDDY, L.S. 1987. Effect of different stages of maturity and post harvest treatments on seed viability of *Coffea arabica* L. *Journal of Coffee Research* 17(1):14-25.
- ROBERTS, E.H. 1972. *Viability of Seeds*. London, Chapman and Hall. 448 p.
- SACHER, R. 1973. Senescence and postharvest physiology. *Annual Review Plant Physiology* 24:197-224.
- VALIO, I.F.M. 1976. Germination of coffee seeds (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). *Journal of Experimental Botany* 27(100):983-991.
- VAN DER VOSSSEN, H.A.M. 1979. Methods of preserving the viability of coffee seed in storage. *Seed Science and Technology* 7(1):65-74.